

Artikel Review

Literatur Review: The Impact of Particulate Matter Air Pollution on Diabetes

Muhammad Rasid¹, Henny Pagoray², Krispinus Duma², Mayusef Sukmana^{*3}

Abstrak

Latar belakang: Diabetes melitus (DM) merupakan penyakit sistemik yang disebabkan oleh peningkatan kadar glukosa dalam darah. Prevalensi DM meningkat setiap tahunnya di dunia hingga mencapai 693 juta pada tahun 2045. Particulate Matter 2.5 (PM2.5) diduga berkontribusi terjadinya peningkatan angka kejadian DM. Tujuan penelitian ini adalah melakukan literatur review artikel pengaruh partikulat matter terhadap DM. Metode penelitian adalah literatur review. Kriteria inklusi: artikel 5 tahun terakhir (2019-2024), terindeks scopus Q1 sampai dengan Q4. Mesin pencarian, PRISMA dan ekstrak data menggunakan aplikasi Watase Uake terdapat 3 artikel yang memenuhi kriteria. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan PM2.5 dan DR dengan konsumsi alkohol nilai 1,29 (1,01, 1,66). kejadian DR untuk setiap peningkatan 10- $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada partikulat dengan diameter $\leq 2,5$ dan 2,5–10- μm masing-masing adalah 1,29 (1,11–1,50) dan 1,37 (1,17–1,61). Terdapat hubungan PM2.5 dengan kejadian diabetes nefropati dan konsumsi alkohol. Paparan jangka panjang sangat penting berhubungan erat dengan tingkat hsCRP. Hubungan yang lebih kuat Peningkatan adiponektin diamati di antara peserta non-obesitas. Peningkatan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ paparan PM2.5, kemungkinan terkena retinopati diabetik meningkat sebesar 41%. Kesimpulan: Pada pasien DM, semakin tinggi paparan partikulat, semakin tinggi pula risiko DR. Sangat penting untuk mengurangi paparan PM2.5.

Kata kunci: Partikulat Mater, DM, retinopathy, biomark

Abstract

Background: Diabetes mellitus (DM) is a systemic disease caused by elevated blood glucose levels. The prevalence of DM in the world. It is predicted to increase every year to reach 693 million by 2045. Particulate Matter 2.5 (PM2.5) is thought to contribute to the increase in DM incidence. The purpose of this study was to conduct a literature review of articles on the effect of particulate matter on DM. The research method is literature review. Inclusion criteria: articles from the last 5 years, indexed by Scopus Q1 to Q4 (2019-2024). Search engine, PRISMA and extract data using the Watase Uake application. There were three articles criteria included. The results showed that there was an association of PM2.5 and DR with alcohol consumption with a value of 1.29 (1.01, 1.66). the incidence of DR for every 10- $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in particulates with diameters ≤ 2.5 and 2.5-10- μm was 1.29 (1.11-1.50) and 1.37 (1.17-1.61), respectively. There was an association of PM2.5 with the incidence of diabetes nephropathy and alcohol consumption. Long-term exposure was importantly associated with hsCRP levels. A stronger association of increased adiponectin was observed among non-obese participants. A 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in PM2.5 exposure, the probability of developing diabetic retinopathy increased by 41%. Conclusion: in patients with DM, the higher the particulate exposure, the higher the risk of DR. It is important to reduce PM2.5 exposure.

Keywords: Partikulat Mater, DM, retinopathy, biomark

Submitted : 06 Oktober 2025

Accepted: 31 Desember 2025

Afiliasi penulis : 1 Dosen Prodi Keperawatan Politeknik Kesehatan Banjarmasin 2 Dosen Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Mulawaman 3 Dosen Prodi D3 Keperawatan Fakultas Kedokteran Universitas Mulawaman

Korespondensi : mayusef sukmana* mayusef@fk.unmul.ac.id, 081346301248

PENDAHULUAN

Diabetes Melitus merupakan masalah kesehatan global yang prevalensinya terus meningkat. Organisasi Kesehatan Dunia memperkirakan bahwa pada tahun 2045 akan terdapat 693 juta penderita DM di dunia.[1]. DM ditandai dengan hiperglikemia kronis yang dapat menyebabkan berbagai komplikasi serius, seperti penyakit

kardiovaskular, gagal ginjal, dan neuropati. Berbagai faktor risiko berkontribusi terhadap perkembangan DM, termasuk faktor genetik, pola makan, kurangnya aktivitas fisik, dan faktor lingkungan.

Prevalensi DM telah meningkat secara dramatis di Cina, dari 0,67 pada tahun 1980 menjadi 10,9 IMN 2013. Data lainnya meningkat dari 139 per 100.000 populasi pada tahun 1990 menjadi 215 per 100.000 populasi pada 2017[2]. China memiliki jumlah terbesar pasien DM di seluruh dunia[3]. Di antara polutan lingkungan, paparan materi partikulat mater (PM) 2.5 dan PM10

dihubungkan dengan peningkatan prevalensi dan tingkat kejadian DM[4]. Tingkat PM di Cina relatif lebih tinggi daripada di negara - negara Eropa dan Amerika, dan studi pada populasi Cina baru-baru ini melaporkan hubungan positif antara polusi PM dan DM[4]; [5]. DM merupakan penyebab paling umum dari gangguan ginjal dan komplikasinya termasuk penyakit kardiovaskular, ginjal, dan retina tinggi [6]. Selain itu, pasien DM mungkin lebih rentan terhadap efek samping polusi udara pada penyakit kardiovaskular [7]. Namun, penelitian tentang efek samping PM pada penyakit mikrovaskuler diabetes belum banyak diteliti[8]. Sementara paparan jangka panjang terhadap PM dikaitkan dengan penyakit ginjal kronis dan perubahan mikroalbuminuria pada pasien diabetes[9], hanya satu penelitian yang melaporkan hubungan Antara paparan PM dan terjadinya retinopati diabetik (DR) pada pasien diabetes[10].

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa paparan terhadap polusi udara, khususnya particulate matter , juga berperan dalam meningkatkan risiko DM. PM merupakan partikel halus dengan diameter kurang dari 2.5 mikrometer yang dapat menembus jauh ke dalam saluran pernapasan dan masuk ke aliran darah. Partikel-partikel ini dapat memicu peradangan sistemik, stres oksidatif, dan disfungsi endotel, yang semuanya berkontribusi terhadap resistensi insulin dan disfungsi sel β pankreas, mekanisme kunci dalam patogenesis DM. [11], [12][13]

Penelitian terkait menunjukkan ada hubungan antara paparan PM dan peningkatan risiko DM, namun tinjauan literatur yang komprehensif masih diperlukan untuk merangkum temuan-temuan penelitian terkini dan mengidentifikasi serta menganalisis kesenjangan penelitian yang perlu diatasi. Hasil tinjauan ini diharapkan dapat memberikan informasi berharga bagi tenaga kesehatan, pembuat kebijakan, dan masyarakat dalam upaya pencegahan dan pengendalian DM di era dengan tingkat polusi udara yang semakin tinggi.

Dalam melakukan tinjauan pemilihan hasil penelitian dengan sampel besar dan berasal dari negara banyak penduduk menjadi pertimbangan dalam menentukan kajian literatur agar penelitian bisa lebih menggeneralisir subjek yang diteliti.[14]. Kajian Pustaka terkait hasil penelitian yang telah dipublikasikan untuk dampak pada manusia belum banyak dilakukan. Sehingga diperlukan literatur review.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan literatur review artikel tentang penelitian pengaruh PM pada diabetes melitus.

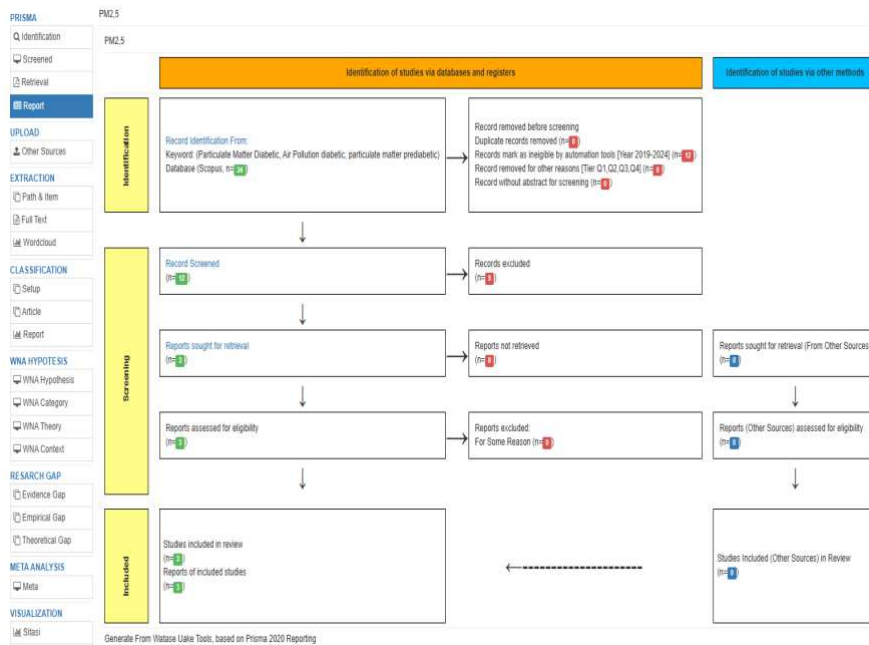
METODE

Metodologi menggunakan literature review. Mesin pencarian dengan aplikasi Watase Uake suatu aplikasi yang membantu terhubung dengan data based scopus. Watase Uake merupakan aplikasi sistem online yang dirancang untuk melakukan kolaborasi penelitian antar peneliti. Dirintis sejak tahun 2018 dan mulai dikembangkan dengan melibatkan peneliti dari beberapa perguruan tinggi pada tahun 2020. Watase.web.id dibuat bertujuan memfasilitasi peneliti dalam melakukan riset bersama (riset kolaborasi). Dengan menggunakan Watase, peneliti saling berbagi dan berkerjasama dalam penelitiannya. Adapun beberapa fitur yang dikembangkan Watase meliputi Systematic Literature Review dengan PRISMA. Simple Meta Analysis Klasifikasi Artikel. Visualisasi Data. (Wahyudi, 2024).

Tahapan meliputi identifikasi, skrining, penerimaan artikel, laporan PRISMA, upload sumber data pada aplikasi Watase Uake, Ekstaksi data, analisis artikel. Tahap identifikasi pencarian artikel menggunakan kata kunci menggunakan "particulate matter 2.5 diabetic", tahun publikasi artikel 2019-2024, data based artikel pada scopus dengan rank jurnal Q1, Q2, Q3, Q4. Tahap skrining artikel dilakukan dengan membaca judul, abstrak dan kata kunci. Tahap penerimaan artikel dilakukan jika artikel sesuai dengan tema dan kata kunci yang ditetapkan. Tahap laporan PRISMA dihasilkan secara otomatis dari aplikasi Watase Uake. Tahap ekstraksi data

dengan Ekstraksi data pada literatur review adalah proses pengumpulan dan pemilihan informasi penting dari berbagai sumber literatur yang relevan. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan merangkum temuan-temuan kunci yang berkaitan dengan topik yang diteliti, sehingga

dapat memberikan dasar yang kuat untuk penelitian lebih lanjut atau untuk menyusun tinjauan pustaka yang komprehensif. Tahapan terakhir adalah melakukan analisis data di pembahasan



Gambar 4. PRISMA menggunakan aplikasi Watase UAE.

HASIL

Dari tahap identifikasi artikel dari data base sampai penerimaan artikel didapatkan 24 artikel yang relevan dengan kata kunci. Hasil penapisan PRISMA sebagai berikut : Artikel yang ditolak dari data based scopus berjumlah 12 (dua belas) artikel. Artikel yang

diterima berjumlah 12 (dua belas). Artikel yang memenuhi kriteria berjumlah 3 (tiga) artikel. Gambar 4 memperlihatkan jumlah artikel yang diidentifikasi 24 (dua puluh empat) artikel, 12 (dua belas artikel) masuk didapatkan tahun 2019-2024, dan 3 (tiga) artikel memenuhi kriteria inklusi dan eligible.

Tabel 1 Ekstraksi data Dampak Polutan *Particulate Matter*^{2.5} Pada Diabetes Melitus

No.	Author/Tahun/Judul/Jurnal	Tujuan	Lokasi, Sampel Populasi Teknik Sampel	Tipe riset	Variabel dan instrumen	Signifikan	Kebaruan	Kekuatan	Kelemahan
1.	Shan, et al . 2021. Association between long-term exposure to fine particulate matter and diabetic	Untuk menyelidiki hubungan antara paparan jangka panjang terhadap PM2.5 dan	China. Populasi sebanyak 52,041 masyarakat regional China dengan DM dan Sampel sebanyak 3111 orang	Survey cross-sectional study	<i>Particulate Matter 2.5 (PM2.5)</i> Usia Jenis kelamin	PM2.5 dan DR dengan konsumsi alkohol nilai 1,29 (1,01, 1,66)	Temuan ini menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap PM2.5	Jumlah sampel yang besar dan tersebar luas regional	Data glukosa darah puasa tidak tersedia selama pemeriksaan fisik.

No.	Author/Tahun/Judul/Jurnal	Tujuan	Lokasi, Sampel Populasi Teknik Sampel	Tipe riset	Variabel dan instrumen	Signifikan	Kebaruan	Kekuatan	Kelemahan
	retinopathy among diabetic patients A national cross-sectional study in China, <i>Environment International</i> . DOI: 10.1016/j.envint.2021.106568[15] Environment International Sitasi : 31 Rank Journal : Q1	prevalensi diabetes retinopati pada pasien diabetes dewasa di pedesaan Cina	dengan DM di 10 (sepuluh) Provinsi(wilayah pedesaan di kabupaten/kota/kota madya) <i>Multistage stratified cluster sampling procedure</i>		Status pernikahan BMI Pendidikan Pendapatan Merokok Alkohol Pengukuran PM2.5: <i>A satellite-based spatiotemporal model</i>		yang tinggi dikaitkan dengan risiko retinopati diabetik di antara pasien diabetes di pedesaan di China. setiap peningkatan 10 µg/m ³ paparan PM2.5, kemungkinan terkena retinopati diabetik meningkat sebesar 41%. Interval keyakinan (CI) 95% sebesar 1,27 hingga 1,57.	China dianggap mewakili populasi.	Tidak ada serum puasa yang dikumpulkan selama program tes mata, jadi kami hanya mengukur glukosa darah secara acak, melewatkan beberapa kasus DM karena beberapa pasien mungkin tidak menyadari bahwa mereka menderita DM.
2.	Pan, Shih-Chun.2020. Association between air pollution exposure and diabetic retinopathy among diabetics. <i>Environment International</i>	Untuk menentukan hubungan paparan polusi udara sekitar dengan risiko DR	Pasien yang baru didiagnosis menderita diabetes melitus (DM) selama tahun 2003–2012 dari Longitudinal Health Insurance Database	Cohort study	Partikulat Mater 2.5-10 Diabetic Retinopathy The NHI	Rasio Odds (interval kepercayaan 95%) kejadian DR untuk setiap peningkatan 10-µg/m ³ pada partikulat	Pada pasien DM, semakin tinggi paparan partikulat, semakin tinggi pula risiko DR.	Sampe l besar mewakili populasi.	Informasi terperinci terkait keparahan DM tidak tersedia (misalnya, indeks

No.	Author/Tahun/Judul/Jurnal	Tujuan	Lokasi, Sampel Populasi Teknik Sampel	Tipe riset	Variabel dan instrumen	Signifikan	Kebaruan	Kekuatan	Kelemahan
	Journal[10] DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108960 Sitasi : 34 Rank Journal : Q1		2005), bagian dari National Health Insurance Research Database, dimasukkan sebagai kelompok studi. Populasi 5790 dan Sampel 579		Research Database (NHIRD)	dengan diameter $\leq 2,5$ dan $2,5-10\text{-}\mu\text{m}$ masing-masing adalah 1,29 (1,11–1,50) dan 1,37 (1,17–1,61).			massa tubuh dan kadar hemoglobin (A1C).
3.	Sarah Luchta, et al. 2019, Air pollution and diabetes-related biomarkers in non-diabetic adults: A pathway to impaired glucose metabolism?. Environment International Journal[16] DOI : https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.005 Sitasi : 40	Mengevaluasi hubungan antara AP (Air Pollution) jangka pendek, menengah, dan panjang dengan bioaktivitas terkait diabetes. penanda (adiponektin, antagonis reseptor interleukin-1 [IL-1RA], protein C-reaktif sensitivitas tinggi [hsCRP], fibrinogen) pada orang	Populasi di DM di Jerman sebanyak 6727 orang Sampel 4052 orang Adiponektin, IL-1RA, hsCRP, dan fibrinogen diukur dalam sampel darah yang dikumpulkan pada awal penelitian. (t0; 2000–2003) dan pemeriksaan tindak lanjut pertama (t1; 2006–2008) dari prospektif Heinz Nixdorf Recall (HNR) studi kohort di Jerman. Rata-rata paparan	Cohort study	Variabel Independen AP, variabel dependen Biomarker (biomarkers (adiponektin, interleukin-1 receptor antagonist [IL-1RA], high sensitivity C-reactive protein [hsCRP], fibrinogen) Instrumen pengukur AP dengan Air	Paparan jangka panjang sangat penting berhubungan erat dengan tingkat hsCRP sementara tidak ada pola konsisten yang diamati untuk fibrinogen. Hubungan yang lebih kuat Peningkatan adiponektin diamati di antara peserta non-obesitas.	Pada orang tanpa diabetes, kami mengamati pola hubungan yang berbeda antara AP dan diabetes biomarker terkait di berbagai jendela paparan, mendukung hipotesis bahwa AP mungkin berperan dalam perkembangan DM	Jumlah sampel besar, metode yang digunakan cohort study dimana sampel diteliti selama 2 tahun (2006-2008). Laboratorium pemeriksaan biomarker standar	Model EURAD memiliki resolusi 1 km^2 , dia kemungkinan besar estimasi paparan kita semua mengandung beberapa tingkat pengukuran kesalahan pengukuran, meskipun kami percaya bias ini tidak akan bersifat

No.	Author/Tahun/Judul/Jurnal	Tujuan	Lokasi, Sampel Populasi Teknik Sampel	Tipe riset	Variabel dan instrumen	Signifikan	Kebaruan	Kekuatan	Kelemahan
	Rank Journal : Q1	tanpa diabetes.	tempat tinggal peserta terhadap PM10, PM2.5, NO2, dan mode akumulasi konsentrasi jumlah partikel (PNAM) diperkirakan selama beberapa jendela waktu (1 hingga 365 hari) sebelum pengujian aminasi menggunakan model dispersi dan transportasi kimia		<p><i>pollution Dispersion (EURAD) chemistry transport model.</i></p> <p>Pemeriksaan biomarker menggunakan <i>ELISA kits from R&D Systems (Wiesbaden, Germany)</i></p>				<p>diferensial dan dengan demikian kemungkinan besar bias hasil kami ke arah nol. Selain itu, kalibrasi paparan PM2.5 dan PNAM dari model EURAD penggunaan data pengukuran belum dilakukan, dan pengukuran kesalahan dalam estimasi paparan ini kemungkinan lebih besar dibandingkan</p>

No.	Author/Tahun/Judul/Jurnal	Tujuan	Lokasi, Sampel Populasi Teknik Sampel	Tipe riset	Variabel dan instrumen	Signifikan	Kebaruan	Kekuatan	Kelemahan
									gkan dengan PM10 dan NO2. Kemungkinan juga terdapat kesalahan klasifikasi dalam status diabetes

PEMBAHASAN

Partikel udara yang sangat halus dikenal sebagai partikel materi 2.5 (PM2.5), yang memiliki kemampuan untuk masuk ke dalam sistem pernapasan dan bahkan masuk ke dalam aliran darah. Studi terbaru menunjukkan korelasi kuat antara paparan PM2.5 dan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan metabolisme. Studi-studi ini secara khusus menekankan korelasi antara PM2.5 dan biomarker glikemik, peradangan ditunjukkan oleh kadar IL-6[10].[15][16]

Hubungan antara PM2.5 dan biomarker glikemik seperti HOMA-IR dan 2hPG. HOMA-IR adalah indeks yang menilai resistensi insulin.[17]. Menurut penelitian, paparan PM2.5 dapat meningkatkan resistensi insulin. Ini dapat terjadi karena berbagai faktor, seperti inflamasi, stres oksidatif, dan gangguan fungsi endotel. 2hPG: glukosa darah dua jam setelah tes toleransi glukosa oral dikenal sebagai 2hPG, yang merupakan indikator kemampuan tubuh untuk memproses glukosa.[18] Studi telah menemukan hubungan positif antara paparan PM2.5 dan kadar 2hPG yang lebih tinggi, yang menunjukkan bahwa kurangnya

toleransi glukosa berarti risiko diabetes tipe 2 meningkat. [19].

Hubungan antara PM2.5 dan PM10 dan variabel-variabel ini dapat dijelaskan oleh beberapa mekanisme, antara lain: Inflammasi: PM2.5 dapat menyebabkan respons inflamasi dalam tubuh, yang dapat merusak sel-sel pankreas yang menghasilkan insulin, mengganggu metabolisme glukosa, dan meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular.[20][21] [22]. Stres oksidatif: PM2.5 dan PM 10 dapat menghasilkan radikal bebas yang merusak sel dan jaringan, menyebabkan stres oksidatif, dan berkontribusi pada perkembangan penyakit kronis[23][24]. Disfungsi endotel: PM2.5 dapat merusak lapisan dalam pembuluh darah (endotel), yang bertanggung jawab atas metabolisme glukosa[25]. Kerusakan pembuluh darah yang terjadi di daerah retina akan berdampak pada suplai oksigen dan nutrisi pada saraf retina menjadi berkurang. Kerusakan retina akan lebih cepat sehingga berakhir pada diabetic retinopathy[26] [27][28]

Hasil penelitian ini memiliki konsekuensi yang signifikan bagi kesehatan masyarakat. Perlu dilakukan upaya untuk

mengurangi paparan PM melalui pengendalian emisi dari berbagai sumber, seperti kendaraan bermotor, industri, dan pembangkit listrik. Selain itu, penting juga untuk mendorong orang untuk menjalani gaya hidup sehat, seperti berhenti merokok, tidak meminum alcohol, menjaga berat badan ideal, dan sering berolahraga.[21][29] [30]

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami mekanisme yang mendasari hubungan antara PM dan berbagai masalah kesehatan. Penelitian masa depan juga perlu berkonsentrasi pada pengembangan metode intervensi yang efektif untuk mengurangi efek negatif paparan PM diabetes melitus.

SIMPULAN

Paparan Particulate Matter 2.5 dan PM10 menunjukkan korelasi yang kuat pada diabetes melitus, berisiko menyebabkan DM dengan komplikasi retinopati. Sangat penting untuk mengurangi paparan PM2.5 dan PM10. Disarankan menghindari paparan PM agar risiko terjadi DM dengan komplikasi retinopati menjadi berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sun H, Saeedi P, Karuranga S, Pinkepank M, Ogurtsova K, Duncan BB, et al. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes Res Clin Pract* 2022;183:1–23. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109119>.
- [2] Zhou M, Wang H, Zeng X, Yin P, Zhu J, Chen W, et al. Mortality, morbidity, and risk factors in China and its provinces, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet* 2019;394:1145–58. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30427-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30427-1).
- [3] Wu Z, Jin T, Weng J. A thorough analysis of diabetes research in China from 1995 to 2015: current scenario and future scope. *Sci China Life Sci* 2019;62:46–62. <https://doi.org/10.1007/s11427-018-9377-y>.
- [4] Liu X, Jiang N, Zhang R, Yu X, Li S, Miao Q. Composition analysis of PM2.5 at multiple sites in Zhengzhou, China: implications for characterization and source apportionment at different pollution levels. *Environ Sci Pollut Res* 2021;28:59329–44. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10943-5>.
- [5] Shan A, Zhang Y, Zhang L wen, Chen X, Li X, Wu H, et al. Associations between the incidence and mortality rates of type 2 diabetes mellitus and long-term exposure to ambient air pollution: A 12-year cohort study in northern China. *Environ Res* 2020;186:109551. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109551>.
- [6] Leśniowska J, Schubert A, Wojna M, Skrzekowska-Baran I, Fedyna M. Costs of diabetes and its complications in Poland. *Eur J Heal Econ* 2014;15:653–60. <https://doi.org/10.1007/s10198-013-0513-0>.
- [7] Pinault L, Brauer M, Crouse DL, Weichenthal S, Erickson A, Van Donkelaar A, et al. Diabetes status and susceptibility to the effects of PM2.5 exposure on cardiovascular mortality in a national Canadian cohort. *Epidemiology* 2018;29:784–94. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000908>.
- [8] Chin WS, Chang YK, Huang LF, Tsui HC, Hsu CC, Guo YLL. Effects of long-term exposure to CO and PM2.5 on microalbuminuria in type 2 diabetes. *Int J Hyg Environ Health* 2018;221:602–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.04.009>.
- [9] Bowe B, Xie Y, Li T, Yan Y, Xian H, Al-Aly Z. Particulate matter air pollution and the risk of incident CKD and progression to ESRD. *J Am Soc Nephrol* 2018;29:218–30. <https://doi.org/10.1681/ASN.2017030253>.
- [10] Pan SC, Huang CC, Chin WS, Chen BY, Chan CC, Guo YL. Association between air pollution exposure and diabetic retinopathy among diabetics. *Environ Res* 2020;181:108960. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108960>.

- [11] Kusuma Dewi F, Lazuardi L. Polusi udara dalam ruangan dan kejadian kardiometabolik di Indonesia: analisis data Indonesian Family Life Survey (IFLS) Indoor air pollution and cardiometabolic diseases in Indonesia: an Indonesian Family Life Survey (IFLS) analysis. *Ber Kedokt Masyarakat* (BKM J Community Med Public Heal 2017;33:335–42.
- [12] Putri TF, Wasita B, Indarto D. Administrations of Butterfly Pea Flower (*Clitoria Ternatea* L) Extract Reduce Oxidative Stress and Increase Body Weight of Male Wistar Rats with Diabetes. *Amerta Nutr* 2023;7:400–5. <https://doi.org/10.20473/amnt.v7i3.2023.400-405>.
- [13] Widaryanti B, Khikmah N, Sulistyani N. Efek Rebusan Sereh (*Cymbopogon citratus*) Terhadap Respon Stress Oksidatif Pada Tikus Wistar Jantan (*Rattus norvegicus*) Diabetes. *Life Sci* 2021;10:173–81. <https://doi.org/10.15294/lifesci.v10i2.54457>.
- [14] Nur Fadilah Amin; Sabaruddin Garancang; Kamaluddin abunawas. Konsep Umum Populasi dan Sampel dalam penelitian. *J Pilar J Kaji Islam Kontemporer* 2017;14:15–31. <https://doi.org/10.21070/2017/978-979-3401-73-7>.
- [15] Shan A, Chen X, Yang X, Yao B, Liang F, Yang Z, et al. Association between long-term exposure to fine particulate matter and diabetic retinopathy among diabetic patients: A national cross-sectional study in China. *Environ Int* 2021;154:106568. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106568>.
- [16] Lucht S, Hennig F, Moebus S, Führer-Sakel D, Herder C, Jöckel KH, et al. Air pollution and diabetes-related biomarkers in non-diabetic adults: A pathway to impaired glucose metabolism? *Environ Int* 2019;124:370–92. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.005>.
- [17] Puspasari A, Maharani C, Mus R, Hastuti P, Hamim Sadewa A, Setyawati. Biomarker Pengganti Homa-1r Untuk Mendeteksi Resistensi Insulin. *Jmj* 2019;7:122–30.
- [18] Masu VIF, Riwu M, Kareri DGR, Damanik EMB. Diabetes Self Management Education Sebagai Perawatan Mandiri Pasien Diabetes Melitus di Tengah Masa Pandemi COVID-19 Systematic Review. *Cendana Med J* 2023;11:182–92. <https://doi.org/10.35508/cmj.v11i1.10726>.
- [19] Zhang Z, Hu S, Fan P, Li L, Feng S, Xiao H, et al. The Roles of Liver Inflammation and the Insulin Signaling Pathway in PM2.5 Instillation-Induced Insulin Resistance in Wistar Rats. *Dis Markers* 2021;2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2821673>.
- [20] Russo MP, Grande-Ratti MF, Burgos MA, Molaro AA, Bonella MB. Prevalence of diabetes, epidemiological characteristics and vascular complications. *Arch Cardiol Mex* 2023;93:30–6. <https://doi.org/10.24875/ACM.21000410>.
- [21] Grant PJ, Cosentino F, Marx N. Diabetes and coronary artery disease: Not just a risk factor. *Heart* 2020;106:1357–64. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2019-316243>.
- [22] Ceriello A, Prattichizzo F. Variability of risk factors and diabetes complications. *Cardiovasc Diabetol* 2021;20:1–11. <https://doi.org/10.1186/s12933-021-01289-4>.
- [23] Rosatul Umah, Eva Gusmira. Dampak Pencemaran Udara terhadap Kesehatan Masyarakat di Perkotaan. *Profit J Manajemen, Bisnis Dan Akunt* 2024;3:103–12. <https://doi.org/10.58192/profit.v3i3.2246>.
- [24] Li H, Ren J, Li Y, Wu Q, Wei J. Oxidative stress: The nexus of obesity and cognitive dysfunction in diabetes. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2023;14:1–13. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1134025>.
- [25] Liang S, Zhang J, Ning R, Du Z, Liu J, Batibawa JW, et al. The critical role of endothelial function in fine particulate matter-induced atherosclerosis. *Part Fibre Toxicol* 2020;17. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00391-x>.
- [26] Baltă F, Cristescu IE, Mirescu AE,

- Baltă G, Zemba M, Tofolean IT. Investigation of Retinal Microcirculation in Diabetic Patients Using Adaptive Optics Ophthalmoscopy and Optical Coherence Angiography. *J Diabetes Res* 2022;2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1516668>.
- [27] Qi Y, Liu X, Chen Y, Wu Y, Sun Y, Liu X, et al. Enhanced Intrusion of Exogenous Airborne Fine Particles toward Eyes in Humans and Animals: Where Damaged Blood-Ocular Barrier Plays a Crucial Role. *Environ Sci Technol* 2024;58:13636–47. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c01791>.
- [28] Erlyana Suryawijaya E. Continuing Medical Education Akreditasi PB IDI-4 SKP Retinopati Diabetes. *3lomb Med J* 2019;46:220–4.
- [29] Francelina Ivanty Sao Da, Yuliana Radja Riwu, Honey Ivon Ndoen. Hubungan Perilaku dengan Kejadian Diabetes Melitus Tipe 2 di Puskesmas Kota Ende Tahun 2021. *SEHATMAS J Ilm Kesehat Masy* 2023;2:352–60. <https://doi.org/10.55123/sehatmas.v2i2.1451>.
- [30] Lin KY, Hsih WH, Lin YB, Wen CY, Chang TJ. Update in the epidemiology, risk factors, screening, and treatment of diabetic retinopathy. *J Diabetes Investig* 2021;12:1322–5. <https://doi.org/10.1111/jdi.13480>.